

# Eindverslag Stage 3devo

Verwarmde behuizing voor het 3D-printen van HDPE en PP  
*door*  
Luca van Straaten (18073611)

Dit document is opgesteld voor de stage bij 3devo. Luca van Straaten is een student Elektrotechniek aan de Haagse Hogeschool te delft.

Datum: 17 november 2021  
Versie: 0.2

## WIJZIGINGEN

<b>Herziening</b>	<b>Datum</b>	<b>Auteur(s)</b>	<b>Beschrijving</b>
V0.1	08.09.2021	Luca	Document aangemaakt
V0.2	29.10.2021	Luca	Eerste opzet
V1	17.11.2021	Luca	Eerste oplagen

# VOORWOORD

Dit ontwerpdocument is geschreven als documentatie van het eerste stagetraject van Luca van Straaten.

Dank gaat naar 3devo voor de mogelijkheid om bij hun mijn eerste stage te doen.

Dit verslag is bedoeld voor mijn stage beoordeler om te beoordelen of ik voldoende heb gepresteerd tijdens mijn stage, voor 3devo en de mensen die daar werken en verder moeten bouwen op mijn werk en voor Nederlandstalige geïnteresseerden in het project. Een Engels vertaalde versie van dit verslag is momenteel niet beschikbaar.

Utrecht, November 2021  
Luca van Straaten

# SAMENVATTING

# INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	iii
SAMENVATTING	iv
LIJST VAN FIGUREN	vii
LIJST VAN AFKORTINGEN	viii
LIJST VAN BEGRIPPEN	ix
INLEIDING	x
1    Wat is 3D-printen . . . . .	x
1.1    FDM 3D-printen . . . . .	x
1.2    3D-printer software . . . . .	x
1.3    3D-printer firmware . . . . .	xi
2    Wat zijn HDPE en PP . . . . .	xi
2.1    Waarom HDPE en PP . . . . .	xi
3    Bestanden downloaden . . . . .	xii
1    ANALYSE VAN HET PROBLEEM	1
1.1    Waarom is een speciale 3D-printer nodig . . . . .	1
1.1.1    Printen op een conventionele 3D-printer . . . . .	1
2    EISEN VAN HET PROJECT	3
2.0.1    randvoorwaarden . . . . .	3
2.0.2    functionele wensen . . . . .	3
2.0.3    gebruikerswensen . . . . .	3
2.0.4    ontwerpbeperkingen . . . . .	3
3    PROBLEMEN	4
3.1    Smeltend plastic in de extruder . . . . .	4
3.1.1    Oorzaak . . . . .	4
3.2    Dubbelvouwend plastic in de extruder . . . . .	4
3.2.1    Oorzaak . . . . .	4
3.3    kamer temperatuur overshoot . . . . .	5
3.3.1    Oorzaak . . . . .	5
4    MOGELIJKE OPLOSSINGEN	6
4.1    extruder problemen . . . . .	6
4.1.1    verschillende soorten extruders . . . . .	6
4.1.2    Zou een Bowden extruder de problemen oplossen . . . . .	6
4.1.3    Zou een water gekoelde extruder de problemen oplossen . . . . .	7

## *Inhoudsopgave*

4.2	temperatuur overshoot . . . . .	7
5	DE GEKOZEN OPLOSSING	<b>8</b>
5.1	Extruder . . . . .	8
5.2	Temperatuur overshoot . . . . .	8
6	ONTWERP VAN DE OPLOSSING EN DE BENODIGDE ONDERDELEN	<b>9</b>
6.1	Hardware . . . . .	9
6.1.1	Ge-3D-printe oplossingen . . . . .	9
6.2	Electronica . . . . .	10
6.3	Software . . . . .	10
6.4	Firmware . . . . .	10
7	ASSEMBLAGE	<b>11</b>
7.1	Assemblage van de printer . . . . .	11
7.1.1	mechanich . . . . .	11
7.1.2	electronich . . . . .	11
8	EINDRESULTAAT	<b>12</b>
9	TOETSING EINDRESULTAAT AAN DE HAND VAN DE EISEN	<b>13</b>
10	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	<b>14</b>
11	EVALUATIE	<b>15</b>
	BIBLIOGRAFIE	<b>16</b>

## LIJST VAN FIGUREN

1.1	PP bakjes van een oogheelkunde kliniek . . . . .	1
1.2	Test print met HDPE op een conventionele printer . . . . .	2
1.3	Test print met PP op een conventionele printer . . . . .	2
4.1	Diagram van de twee soorten extruders die veel woorden gebruikt [1]. . . . .	6
6.1	Render van het 3D ontwerp van de voetjes van de printer . . . . .	9
6.2	Render van het 3D ontwerp van de afstandhouder van de printer . . . . .	10
6.3	Render van het 3D ontwerp van het haakje van de printer . . . . .	10

## LIJST VAN AFKORTINGEN

**2D** Twee dimensionaal

**3D** Drie dimensionaal

**3mf** 3D Manufacturing Format (3D-productieformaat)

**AM** Additive manufacturing (Additieve productie)

**f360** Fusion 360

**FDM** Gefuseerde depositiemodellering (Fused deposition modeling)

**HDPE** High-density polyethylene (Hogedichtheidpolyethaan)

**PE** polyethylene (polyetheen)

**PID** proportional–integral–derivative (proportioneel–integraal–derivaat)

**PP** Polypropylene (Polypropeen)

**stl** Standard Triangle Language (Standaard driehoekstaal)

## LIJST VAN BEGRIPPEN

**C++** programmeertaal gebaseerd op C

**extruder** Het gedeelte van een FDM 3d printer waar het filament mee door het hotend en de nozel word geperst

**hotend** Het gedeelte van een FDM 3d printer waar het filament smelt

# INLEIDING

Waar de reden tot creatie van dit verslag worden blootgelegd, de opdracht en het probleem worden beschreven en achtergrondinformatie wordt gegeven.

De opdracht is om aanstuur elektronica te maken voor een 3D-printer die HDPE en PP moet kunnen printen. Deze printer is ongebruikelijk omdat deze een verwarde kamer krijgt die tot 160 °C moet kunnen komen. De hypothese is dat een verwarmde werkruimte van een dusdanig hoge temperatuur, de problemen oplost die worden bevonden met het printen van HDPE en PP met een conventionele printer.

## 1 WAT IS 3D-PRINTEN

3D-printen is een additieve productie (AM) methode. Dat betekent dat een product wordt opgebouwd vanaf nul, in tegenstelling tot subtractieve productie is er weinig of geen verlies van materiaal. Een andere vorm van additieve productie is bijvoorbeeld sputtigieten, maar hierbij zijn kostbare gietmallen nodig. 3D-printen vereist geen grote investering voor elk nieuw ontwerp, en is daarom uitermate geschikt om snel prototypen te maken. [2]

### 1.1 FDM 3D-PRINTEN

Er zijn verschillende vormen van 3D-printen, maar verreweg de meest populaire bij hobbyisten en kleinschalige bedrijven is FDM 3D-printen. FDM staat voor Fused deposition modeling, hierbij wordt steeds een laag materiaal op de vorige laag neergelegd (depositie) en daarop vast gesmolten (gefuseerd). Door herhaaldelijk laagjes op elkaar neer te leggen kan een 3D object worden opgebouwd. Het plastic wordt gesmolten in het hotend en wordt door de extruder uit het hotend geperst.

### 1.2 3D-PRINTER SOFTWARE

Er is verschillende software en firmware nodig om te kunnen 3d printen. Wat voor soorten software dat staat hier onder beschreven.

### 3D BESTANDEN

Software is nodig om een 3d object te ontwerpen, tijdens dit project is daarvoor f360 gebruikt. Ook kunnen bepaalde 3D objecten worden gedownload van [Thingiverse](#). Dit zijn meestal stl en 3mf bestanden.

## Inleiding

### SLICER

Gedurende dit project is de slicer *Prusaslicer* gebruikt, alle settings die gebruikt zijn om te slicen zijn op GitHub bijgehouden. Een slicer is software die een 3D bestand als een stl of 3mf, omzet in een hoop 2D lagen. Elke laag is gebruikelijk rond de 0.2 mm hoog. De printer *tekent* deze lagen en stapelt ze op elkaar, zo word een 3D object opgebouwd. In de slicer kan je veel dingen instellen om print kwaliteit of print snelheid te verbeteren. Instellingen zoals snelheid, temperatuur, flowrate en een hoop meer kun je tweaken voor een beter resultaat, deze instellingen zijn meestal printer afhankelijk.

### 1.3 3D-PRINTER FIRMWARE

Firmware is een specifieke klasse van computersoftware die de controle op laag niveau biedt voor de specifieke hardware van een apparaat. Voor minder complexe apparaten (zoals 3D-printers) kan firmware fungeren als het complete besturingssysteem van het apparaat.

Een veel gebruiken firmware voor 3D-printers is Marlin en dat is ook waar voor is gekozen voor de 3D-printer. Marlin is een open source firmware voor de RepRap-familie van 3D-printers. Het is afgeleid van Sprinter en grbl en werd een op zichzelf staand open source project op 12 augustus 2011 met de Github-release. Marlin heeft een licentie onder GPLv3 en is gratis voor alle toepassingen [3].

### COMPILER

Een compiler word gebruikt om de firmware van de 3D-printer die in C++ is geschreven, om te zetten naar machinetaal. Machinetaal kan op de microprocessor worden uitgevoerd. Voor het compileren van Marlin is *Auto Build Marlin* een goede optie [4].

## 2 WAT ZIJN HDPE EN PP

HDPE is een hoge dichtheid variant van PE. PE is een thermoplastisch polymer dat in een breed scala aan toepassingen wordt gebruikt. HDPE is dus ook een thermoplast dat kan worden geëxtrudeerd.

PP is tegenwoordig een van de meest gebruikte plastics. Het is een polymer dat voornamelijk wordt gebruikt voor verpakkingen. HDPE is een thermoplast dat kan worden geëxtrudeerd. Het wordt geproduceerd via ketengroeipolymerisatie uit het monomeer propyleen.

### 2.1 WAAROM HDPE EN PP

HDPE en PP hebben een aantal gunstige eigenschappen die ervoor zorgen dat het makkelijk te bewerken is. Daarom is de meerderheid van de gebruikte plastics voor verpakkings-materiaal gemaakt van HDPE en PP. Omdat een grote hoeveelheid van de afvalstroom daarom ook uit HDPE en PP bestaan is het gunstig om dat te kunnen recyclen om mee te 3D-printen.

## *Inleiding*

### **3 BESTANDEN DOWNLOADEN**

Dit hele project is gewerkt in en is vastgelegd in git. Maar omdat de inhoud van het project en verslag intellectueel eigendom is van 3devo, staat dat openbaar op GitHub. Voor vragen over de inhoud van het project kun je contact opnemen met [lucavanstraaten@icloud.com](mailto:lucavanstraaten@icloud.com)

# 1 ANALYSE VAN HET PROBLEEM

Waar de noodzaak van dit project word blootgelegd.

Kortweg is het probleem dat er momenteel niet met HDPE en PP kan worden ge-3D-print. 3D-printen met HDPE en PP is wenselijk omdat deze materialen overvloedig zijn in de huidige afvalstroom, en ze dus goedkoop te verkrijgen zijn.

Een voorbeeld van hoogwaardig PP in de afvalstroom zijn verpakkingen van medische goederen in ziekenhuizen. 3devo heeft PP bakjes van een oogheelkunde kliniek en wil dat recyclen tot 3D-printer filament. Zie Figuur 1.1 voor de bakjes.



Figuur 1.1: PP bakjes van een oogheelkunde kliniek

## 1.1 WAAROM IS EEN SPECIALE 3D-PRINTER NODIG

Er zijn twee redenen gegeven waarom een speciale printer nodig is voor het printen met HDPE en PP. Tests zijn uitgevoerd om vast te stellen of deze complicaties werkelijk het printen van HDPE en PP onmogelijk maken.

### 1.1.1 PRINTEN OP EEN CONVENTIONELE 3D-PRINTER

Er is een test uitgevoerd met het printen van HDPE en PP. Deze test zijn uitgevoerd op een conventionele FDM 3D-printer, namelijk een Ender-3. De slicer settings die gebruikt zijn waren vooral getweakt op temperatuur en snelheid.

## *1 Analyse van het probleem*



Figuur 1.2: Test print met HDPE op een conventionele printer



Figuur 1.3: Test print met PP op een conventionele printer

### LAAG HECHTING

De hypothese is dat bij het printen met PP de laag hechting niet goed zal zijn. Dat komt doordat PP onder de kristallisatieterminatuur niet "plakkerig" is. De test met het printen van PP heeft geconcludeerd dat die hypothese waar is. Het materiaal blijft moeilijk plakken aan het bed, en als dat goed ging, blijft het ook nauwelijks plakken aan zichzelf. Zie Figuur 1.3. Een ander probleem met het printen van PP is dat het flexibele plastic niet goed door een bowden extruder gaat vanwege de extra weerstand in dat systeem. Uitleg over wat een bowden tube extruder is staat in hoofdstuk 4.1.1.

### KROM TREKKEN

De verwachting was dat het grote probleem met HDPE is dat het krom trekt tijdens het printen. Tijdens het printen zal er een warmte gradiënt ontstaan, omdat de laag die net is neergelegd al aan het afkoelen is voor dat de volgende de volgende laag daarop wordt gelegd. Tijdens het testen op een conventionele printer is vastgesteld dat dat inderdaad een probleem is, zie Figuur 1.2 voor een foto van de krom getrokken prints.

# 2 EISEN VAN HET PROJECT

## 2.0.1 RANDVOORWAARDEN

Het frame van een ender-5, de motoren van de ender-5, de behuizing, de warmte-elementen en de positie daar van waren allemaal al ontworpen voordat aan het project was begonnen. Dus deze aspecten van het project konden in principe niet veranderen.

## 2.0.2 FUNCTIONELE WENSEN

De verwarmde kamer van de printer moet 160 °C kunnen worden.

## 2.0.3 GEBRUIKERSWENSEN

De gebruikersinterface moet een eenvoudige en snelle manier zijn om de printer te gebruiken, dat betekent in principe dat de printer op dezelfde manier te bedienen moet zijn als de originele Ender-5

## 2.0.4 ONTWERPBEPERKINGEN

Het project moet woorden gedaan in 10 weken. Dus er kunnen geen onderdelen worden gebruikt met een lange levertijd.

De extruder en hotend kunnen niet op de conventionele manier worden gekoeld omdat dezen zich in de verwarmde kamer bevinden. Dus als blijkt dat dezen gekoeld moeten worden moet daar een andere oplossing voor worden gevonden.

# 3 PROBLEMEN

Tijdens het project zijn eer paar problemen opgetreden. Dezen hadden allemaal te maken met de extruder en dat daar geen plastic meer uit komt (vast liep).

## 3.1 SMELTEND PLASTIC IN DE EXTRUDER

Een probleem waar al vrij snel tegen aan werd gelopen is dat de extruder vast liep door dat het plastic te vroeg smelten, met het gevolg er geen plastic meer uit de nozel kwam. Dit gebeurde telkens rond de zelfde tijd na het starten van een print.

### 3.1.1 OORZAAK

Dit probleem was het resultaat van warme drive gears (extruder tandwielen). Heat creep is een term voor het warmte gradiënt door de metalen onderdelen van de extruder. De stappenmotor van de extruder en de heater cartridge van het hotend produceren allebei warmte. Deze warmte geleid door de hele extruder assemblage en komt dus ook bij de drive gears. Als daardoor het plastic ook warm word smelt het in de extruder. En kan het dus niet meer door de nozel woorden geperst.

## 3.2 DUBBELVOUWEND PLASTIC IN DE EXTRUDER

Een probleem tijdens het testen met een PP print wat dat het plastic dubbel vouwde in de ruimte tussen de extruder tandwielen en de glijder naar de extruder. Dit is dus een ander probleem dan beschreven in hoofdstuk [3.1](#), dit probleem treed eerder op en zelfs als de kamer niet is verwarmd. Dit probleem treden ook op tijdens het testen van PP op een normale printer, echter om een andere reden.

### 3.2.1 OORZAAK

Dit komt doordat er genoeg ruimte is tussen de extruder tandwielen en het extruder frame dat er filament tussen door past. En omdat PP veel flexibeler is dan HDPE, gaat het makkelijk daar tussen zitten.

Dit probleem had een adere oorzaak bij het testen op een standaard ender-3. De oorzaak was echter dat de extruder veel meer kracht zou moeten zetten omdat de ender-3 een bowden extruder printer is. Uitleg over wat een bowden tube extruder is staat in hoofdstuk [4.1.1](#).

### **3.3 KAMER TEMPERATUUR OVERSHOOT**

De temperatuur van de verwarmde kamer schiet door het setpoint heen voordat het stabiliseert of oscilleert rond de ingestelde waarden

#### **3.3.1 OORZAAK**

De massa van de thermistor is zo hoog dat het lang duurt om in evenwicht te komen met de luch-temperatuur. Daarom loopt de gemeente temperatuur dus aanzienlijk achter op de werkelijke temperatuur. De werkelijke temperatuur is geverifieerd door een thermokoppel naast de thermistor te hangen.

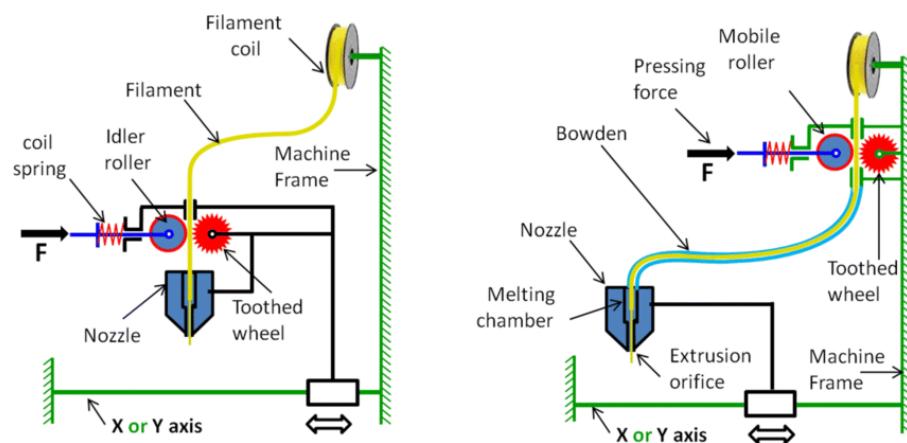
# 4

## MOGELIJKE OPLOSSINGEN

### 4.1 EXTRUDER PROBLEMEN

Het probleem van een vastlopende extruder kwam voor met een direct drive extruder. Een oplossing die overwogen was, was het overstappen naar een andere extruder architectuur.

#### 4.1.1 VERSCHILLENDE SOORTEN EXTRUDERS



Figuur 4.1: Diagram van de twee soorten extruders die veel woorden gebruikt [1].

#### BOWDEN EXTRUDER

De rechter helft van Figuur 4.1 [1] is een diagram van een Bowden extruder. Hierbij is te zien dat extruder los is van de hotend.

#### DIRECT DRIVE EXTRUDER

De linker helft van Figuur 4.1 [1] is een diagram van een direct drive extruder.

#### 4.1.2 ZOU EEN BOWDEN EXTRUDER DE PROBLEMEN OPLOSSEN

Met een bowden extruder zou het probleem van smeltend plastic in de extruder (Hoofdstuk 3.1) opgelost kunnen worden. Echter was opgemerkt dat PP niet geprint kan worden met een bowden printer (Hoofdstuk 3.2).

#### *4 Mogelijke oplossingen*

##### **4.1.3 ZOU EEN WATER GEKOELDE EXTRUDER DE PROBLEMEN OPLOSSEN**

Een water gekoelde extruder/hotend zou allebei de problemen kunnen oplossen met als enige nadeel extra complexheid in de vorm van aanstuur elektronica en software voor de waterkoeling en de waterkoeling zelf (buizen, pomp, radiator).

Een goede optie zou de "Titan Aqua"[\[5\]](#) zijn.

##### **4.2 TEMPERATUUR OVERSHOOT**

Een PID lus voor de kamertemperatuur kan worden geïmplementeerd in de firmware van de printer, het vermogen van de warmte-elementen kan worden teruggedraaid om ervoor te zorgen dat de temperatuur minder snel stijgt en er dus een minder groot verschil is tussen de gemeenten en de werkelijke temperatuur.

# **5 DE GEKOZEN OPLOSSING**

**5.1 EXTRUDER**

**5.2 TEMPERATUUR OVERSHOOT**

# 6

## ONTWERP VAN DE OPLOSSING EN DE BENODIGDE ONDERDELEN

### 6.1 HARDWARE

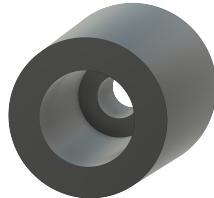
het mechanisch ontwerp van de printer was grotendeels al gedaan, echter zijn er een aantal aanpassingen gedaan, die staan hier beschreven

#### 6.1.1 GE-3D-PRINTE OPLOSSINGEN

Een aantal problemen zijn opgelost door kleine onderdelen te 3d printen. hier zijn daar een paar voorbeelden van.

##### VOETJES VAN DE PRINTER

De voetjes van de printer waren te kort, dus daar zijn langere voor ontworpen en ge-3D-print. Zie Figuur [6.1](#) voor een render van het 3D ontwerp.



Figuur 6.1: Render van het 3D ontwerp van de voetjes van de printer

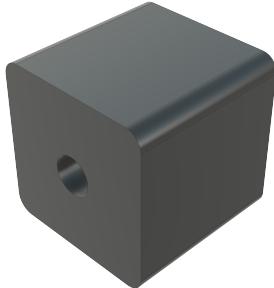
##### AFSTANDHOUDER

De originele printer is omgebouwd met roestvrijstalen panelen aan alle kanten. Om ervoor te zorgen dat er goede thermische isolatie is van de print kamer, is het een dubbelwandig ontwerp met glaswol er tussen. De dubbele wanden worden op afstand gehouden met ge-3D-prinete afstandhouders. Zie Figuur [6.2](#) voor een render van het 3D ontwerp van deze afstandhouders.

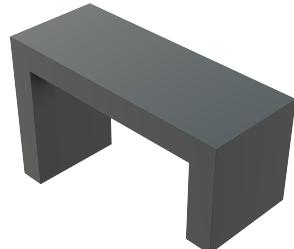
## *6 Ontwerp van de oplossing en de benodigde onderdelen*

### HAAKJE

Om de deur dicht te houden is er een haakje geprint. Zie Figuur 6.3 voor een render van het 3D ontwerp van het haakje.



Figuur 6.2: Render van het 3D ontwerp van de afstandhouder van de printer



Figuur 6.3: Render van het 3D ontwerp van het haakje van de printer

### 6.2 ELECTRONICA

De te gebruiken electronica was grootendeels al vastgesteld voor het project begon.

### 6.3 SOFTWARE

### 6.4 FIRMWARE

# 7

## ASSEMBLAGE

### 7.1 ASSEMBLAGE VAN DE PRINTER

Het mechanisch ontwerp van de printer was al vastgesteld, de printer hoeft dus alleen nog in elkaar worden gezet. De printer is gebaseerd op de ender 5, een robuuste printer die een goed platform biedt om een geïsoleerde behuizing omheen te bouwen. De printer is voorzien van dubbele laser gesneden wanden met glas wol daar tussen. Ondanks dat de assemblage van de behuizing niet in de scope van het project valt, was het wel nodig om verder te gaan met het project.

#### 7.1.1 MECHANICH

Een deel van de rvs panneelen waren al geïnstalleerd, maar

#### 7.1.2 ELECTRONICH

# 8 EINDRESULTAAT

# **9**

## **TOETSING EINDRESULTAAT AAN DE HAND VAN DE EISEN**

# 10 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

# 11 EVALUATIE

## BIBLIOGRAFIE

- [1] M. Attaran, “Towards design of mechanical part and electronic control of multi-material/multicolor fused deposition modeling 3d printing,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 110, 2020.
- [2] ——, “The rise of 3-d printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing,” *Business Horizons*, vol. 60, no. 5, pp. 677–688, 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681317300897>
- [3] S. Lahteine. (2021) What is Marlin? about marlin. [Online]. Available: [marlinfw.org/docs/basics/introduction.html](http://marlinfw.org/docs/basics/introduction.html)
- [4] ——. (2021) Auto build marlin. [Online]. Available: [marlinfw.org/docs/basics/auto\\_build\\_marlin.html](http://marlinfw.org/docs/basics/auto_build_marlin.html)
- [5] E3D. (2021) Titan aqua. [Online]. Available: [e3d-online.com/products/titan-aqua](http://e3d-online.com/products/titan-aqua)

# **Appendices**